

УДК 621.771.23.024.2(658.012.011.56.004.14)

Г.Г. Грабовський, д-р техн. наук

Науково-виробниче підприємство «Київський інститут автоматички», м. Київ,

М.В. Ковцуняк

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ПРОКАТУ. ПОВІДОМЛЕННЯ I

*Приведены результаты внедрения на толстолистовом стане 2800 горячей прокатки Алчевского металлургического комбината (Украина) энергоресурсосберегающей автоматизированной системы гидроудаления окислы.*

*Results of installation energy-resources saving Automatic Hydraulic Descaling System for hot-plate mill of Alchevsk metallurgical plant (Ukraine) are presented.*

### Вступ

У теперішній час металургійна промисловість є основним джерелом валютних надходжень в Україну. Але більшу частину всієї експортної металопродукції складають заготовки (напівфабрикати) для наступної переробки, що значною мірою знижує собівартість експортованого металу. Це зумовлено, перш за все, низькою якістю готової продукції, яку випускає більшість з 17 прокатних станів на Україні, не обладнаних сучасними засобами і системами керування якістю. Через ці обставини конкурентоспроможність готової продукції обмежена.

У зв'язку з цим перед прокатниками, що випускають готову продукцію, стоїть задача реконструкції і переоснащення прокатних станів сучасним технологічним обладнанням і системами керування. Але рішення цієї задачі потребує великих грошових затрат. У той же час уже сьогодні можна запропонувати низку перевірених технічних рішень, які значною мірою можуть покращити показники якості при відносно невеликих капіталовкладеннях.

### Результати досліджень

Пропонуючи те чи інше рішення, слід пам'ятати, що прокатні стани суттєво відрізняються за складом обладнання, конструктивними особливостями, характером технологічного процесу, який, у свою чергу, визначається прокатним сортаментом по марках сталі та типорозмірах. Тому нема універсального рішення для всіх типів станів, а вибір каналів, засобів керування є самостійною багатокритеріальною задачею.

На рис. 1 на прикладі трьохкільцевого реверсивного стану гарячої прокатки представлено технологічну лінію, до складу обладнання якої входить: методична піч 1, рольганги 2, установка гідрозмиву 3, лінійки маніпуляторів 4, вертикальна кліть 5, горизонтальні кліті чорнова 6 і чистова 7, товщиномір 8, гільйотинні ножиці поперечної різки 9, установка прискороного охолодження 10.

На тому ж рис. 1 показано електрогідравлічні канали керування з відповідними автоматизованими системами керування, що ними можуть бути оснащені діючі про-

катні стани. Більша частина технологічного обладнання, що знаходиться в експлуатації на металургійних комбінатах, не має у своєму складі швидкодіючих сучасних електрогідравлічних систем керування якістю продукції.

Якість готової прокатної продукції визначається трьома основними показниками: якістю поверхні, точністю геометричних параметрів і механічними властивостями. Розглянемо кожну з цих складових з точки зору можливості оснащення діючих прокатних станів сучасними електрогідравлічними автоматизованими системами керування якістю.

Якщо мова йде про стани гарячої прокатки, то найбільша проблема забезпечення якості поверхні полягає в ефективності видалення окислы. На сьогоднішній день по цьому питанню існує єдина точка зору, що найбільш ефективний спосіб видалення окислы — гідромеханічний (гідрозмив). Водночас випробування, що проведені нами [1], показують, що з усіх прокатаних листів тільки невелика частина (близько 10–20%) не потребують зачистки з використанням ручних абразивних інструментів (кругів). Це говорить про малу ефективність існуючих систем гідрозмиву і пов'язано з використанням у цих системах порівняно низького тиску (8–15 МПа), через що вони не розвивають необхідного швидкісного напору і не забезпечують якість очистки, що призводить до браку готової продукції.

Сопла, що використовуються, мають відносно великі діаметри вихідних отворів (5–8 мм). Ці сопла встановлюються на спеціальні траверси, на кожній з них по декілька десятків сопел (20–40 у залежності від ширини листа). Уздовж лінії прокатки є декілька місць, де встановлюють такі траверси, що зумовлює велику витрату води (для ТЛС 2800 це близько 5000 м<sup>3</sup>/год), що у свою чергу потребує встановлення відповідних електродвигунів, потужність яких досягає декількох тисяч кіловат. Також необхідно відзначити, що за умов відсутності сучасних систем і засобів автоматички має місце збільшення витрат електроенергії при роботі існуючих систем гідрозмиву.

Ефективність роботи установки гідравлічного видалення окислы характеризується критерієм якості  $K$ , що є

відношенням очищеної від окалини поверхні заготовки до її повної поверхні. Тоді цільовою функцією системи керування гідрозбивом  $F_{II}$  є мінімум середньоквадратичного значення  $\sigma$  цього критерію на кожному слябі у даній партії [6]:

$$F_{II} = \min[\sigma(K)]. \quad (1)$$

Фізичний механізм видалення окалини є комплексом, що складається з 4-х компонент: механічний компонент, що визначається тиском удару, який призводить до руйнування кірки окалини; термічний компонент (термічний удар) призводить до розтріскування і відшаровування окалини за рахунок різниці термічної усадки з основним металом; пневматичний компонент, що виникає у результаті вибухового пароутворення та додатково дробить і вида-

ляє окалину; гідравлічний компонент, який змиває окалину, що залишилася [1].

У гідрозбиві ці механізми приймають участь одночасно, що робить систему важкою для вивчення тільки аналітичними методами. Тому в світовій практиці ефективність процесу видалення окалини вивчають експериментальним шляхом на основі зв'язків якості очистки з динамічними параметрами струменя води, припускаючи, що у цих параметрах неявно приймають участь всі вище перераховані компоненти.

Таким чином, цільову функцію  $F_{II}$  можна також представити у вигляді функції з векторним аргументом

$$F_{II} = f(P_{\text{гидр}}, Q_{\text{гидр}}, \omega_{\text{ок}}, \sigma_{\text{ок}}), \quad (2)$$

компоненти якого є гідродинамічними характеристиками

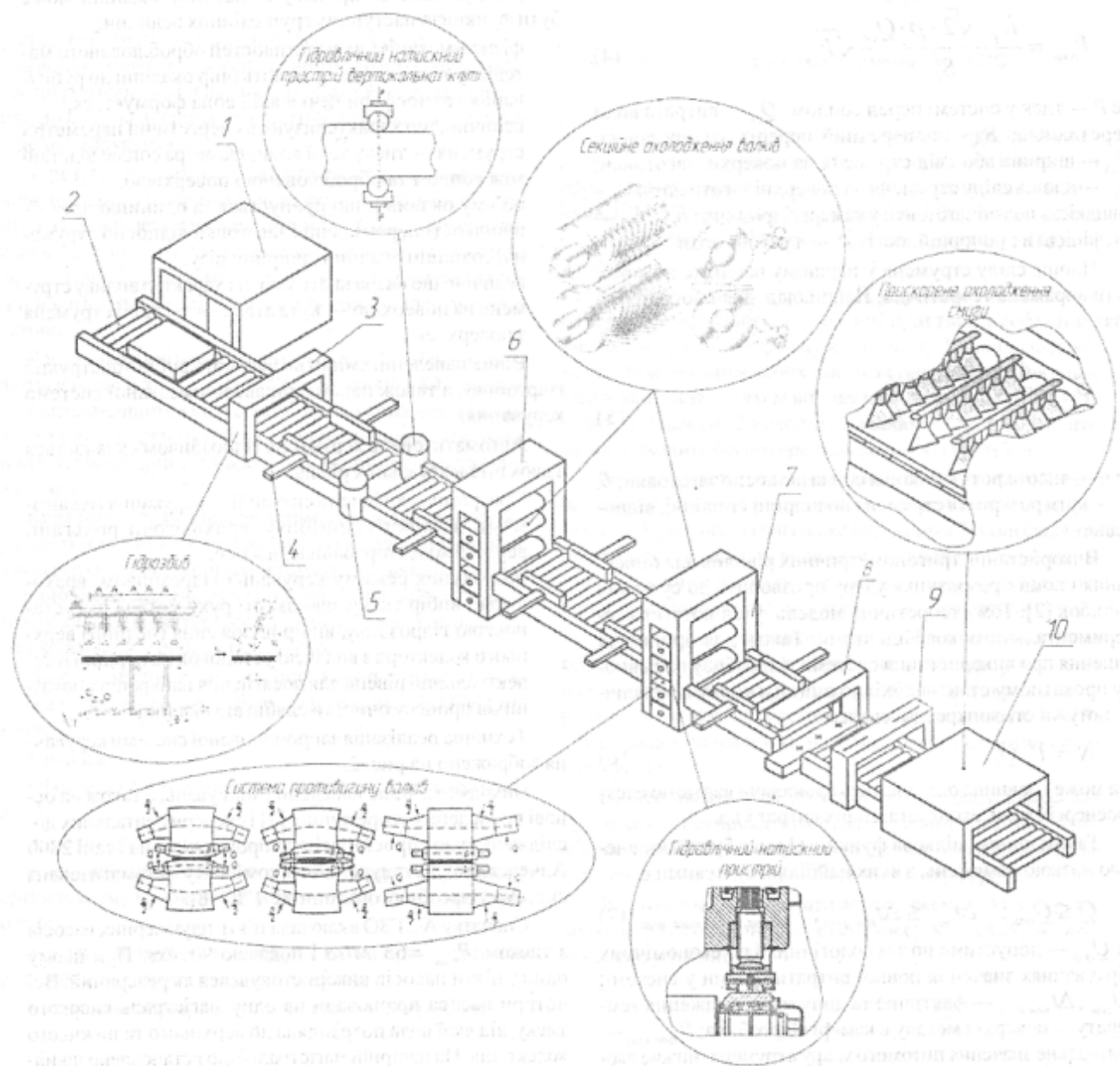


Рис. 1. Технологічна лінія стану.

струменя і фізичні властивості окалини:  $P_{\text{ном}}$  — питомий тиск удару струменя гідрозбиву на одиницю площі поверхні заготовки;  $Q_{\text{ном}}$  — питома витрата рідини на одиницю площі поверхні заготовки;  $\omega_{\text{ок}}$  — кількість окалини на поверхні сляба;  $\sigma_{\text{ок}}$  — міцність зчеплення окалини з поверхнею сляба.

Питомий удар і питома витрата є головними характеристиками струменя робочої рідини і одночасно є основними керуючими параметрами у системі гідрозбиву. З використанням теореми кількості руху і рівняння Бернуллі можливо отримати аналітичний вираз для питомої витрати на ширині сліду сопла  $Q_{\text{ном ст}}$  і питомого удару струменя  $P_{\text{ном}}$ :

$$Q_{\text{ном ст}} = \frac{K_Q \cdot S_{\text{ст}}}{B_{\text{ст}} \cdot V_{\text{зс}}} \sqrt{P}; \quad (3)$$

$$P_{\text{ном}} = \frac{K_p \cdot \sqrt{2} \cdot \rho \cdot Q_{\text{ст}}}{S_{\text{ст}}} \sqrt{P}, \quad (4)$$

де  $P$  — тиск у системі перед соплом;  $Q_{\text{ст}}$  — витрата води через сопло;  $S_{\text{ст}}$  — поперечний переріз отвору сопла;  $B_{\text{ст}}$  — ширина або слід струменя на поверхні заготовки;  $S_{\text{ст}}$  — площа сліду струменя на поверхні заготовки;  $V_{\text{зс}}$  — швидкість подачі заготовки у камері гідрозбиву;  $K_Q$ ,  $K_p$  — коефіцієнти пропорційності;  $\rho$  — густина води.

Площа сліду струменя у першому наближенні може бути виражена теоретично. Наприклад, для плоского сопла:

$$S_{\text{ст}} = \frac{4h^2 \operatorname{tg} \theta}{2 \operatorname{tg} \frac{\phi}{2}}, \quad (5)$$

де  $h$  — висота розтанування сопла відносно заготовки;  $\theta$ ,  $\phi$  — кути розкриття струменя по ширині і глибині, відповідно.

Використання тригонометричних рівнянь для описування площі і розрахунку удару призводить до суттєвих похибок [2]. Тому теоретична модель уточнюється експериментальними коефіцієнтами. Також для прийняття рішення про використання системи гідрозбиву на певному прокатному стані необхідно оцінити повну гідравлічну потужність конкретної системи

$$N = P \cdot Q, \quad (6)$$

яка може і повинна оцінюватись грошовою вартістю електроенергії, води, експлуатаційних витрат і т.д.

Таким чином, цільова функція (1) має бути доповненою низкою обмежень, з яких найбільш суттєвими є

$$Q \leq Q_{\text{дон}}; \quad \Delta t_{\text{нос}} \leq \Delta t_{\text{нос дон}}; \quad P_{\text{ном}} \geq P_{\text{ном мин}} \quad (7)$$

де  $Q_{\text{дон}}$  — допустиме по технологічних і по економічних міркуваннях значення повної витрати рідини у системі;  $\Delta t_{\text{нос}}$ ,  $\Delta t_{\text{нос дон}}$  — фактичне та допустиме зниження температури поверхні металу в камері гідрозбиву;  $P_{\text{ном мин}}$  — мінімальне значення питомого удару струменя, нижче якого видалення даного виду окалини стає неможливим.

З наведених вище міркувань і на основі аналізу літературних даних [3, 4] можна зробити висновок, що найбільш перспективною на сьогоднішній день, особливо для прокатних станів, які завширшки вихідних заготовок більш ніж на 300–400 мм, є використання автоматизованої системи гідрозбиву на основі роторних головок з робочим тиском до 60 МПа. При цьому струмінь рухається із надзвуковою швидкістю (> 300 м/с), розвиваючи ударне навантаження, при якому механічне напруження збільшується до критичних значень, що і призводить до крихкого руйнування окалини.

Для станів, що мають заготовки круглого перерізу, або станів з плоскими заготовками завширшки менше 300 мм можуть бути рекомендовані традиційні сопла, наприклад фірми «Lechler» [5], які оснащено направляючими пристроями потоку води на вході.

Продуктивність процесу гідрозбиву окалини може бути функцією наступних груп змінних величин:

- фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу  $\sigma$ , що характеризують опір окалини до руйнування і атмосфери печі в якій вона формується;
- величин, що характеризують енергетичні параметри струменя — тиску течії води; діаметра сопла; відстані між соплом та оброблюваною поверхнею;
- об'єму окалини, що руйнується за одиницю часу — швидкості переміщення заготовки відносно струменя, товщини окалини, ширини різку;
- величин, що визначають умови і характер впливу струменя на поверхню — кута атаки — зустрічі струменя з поверхнею.

Вище наведенні змінні визначають вибір конструкції гідрозбиву, а також параметри автоматизованої системи керування.

Автоматизоване керування гідрозбивом складається з двох інтелектуальних рівнів:

- Програмно-логічне та ситуаційне керування механізмами ділянки гідрозбиву, враховуючи рольганг, верхній колектор, байпас, насоси.
- Розрахунок режиму керування гідрозбивом, враховуючи вибір тиску, швидкості руху металу під установкою гідрозбиву, вибір положення (позиції) верхнього колектора з видачею установок на перший інтелектуальний рівень для досягнення найкращих показників процесу очистки слябів від окалини.

Технічна реалізація запропонованої системи керування зображено на рис. 2.

Виходячи з вище наведених міркувань, а також на основі проведених теоретичних [7] і експериментальних досліджень було спроектовано і впроваджено на стані 2800 Алчевського металургійного комбінату автоматизована система гідрозбиву окалини АС ГЗО [8].

Спочатку АС ГЗО включала п'ять плунжерних насосів з тиском  $P_{\text{max}} = 63$  МПа і подачею 90 л/хв. При цьому один з п'яти насосів використовувався як резервний. Всі чотири насоса працювали на одну магістраль високого тиску, від якої вода потрапляла до верхнього та нижнього колекторів. На напірній магістралі було встановлено швидкодіючі електрогідравлічні датчики тиску. На початково-

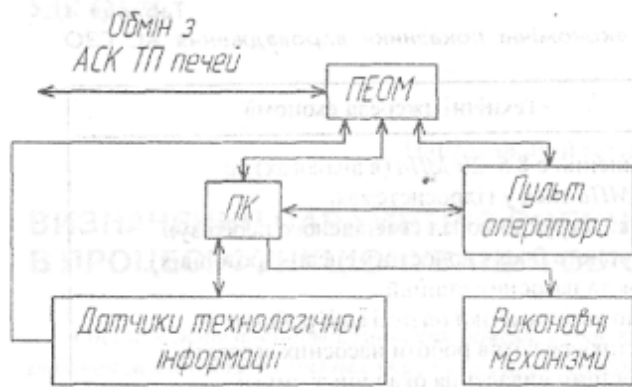


Рис. 2. Структура комплексу технічних засобів.

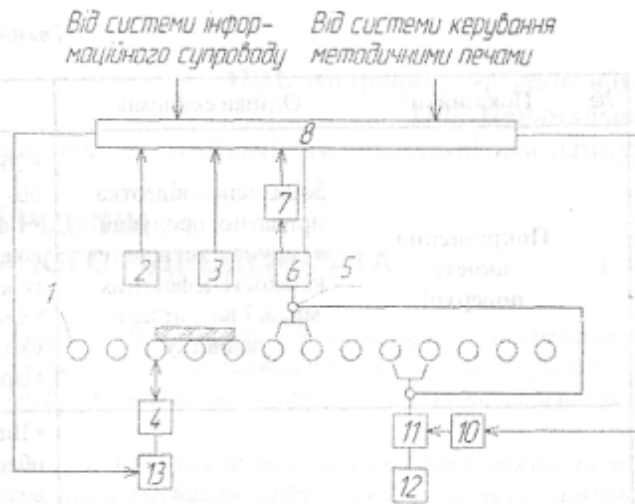


Рис. 3. Структурна схема АС ГЗО.

му етапі роботи насосів на єдину магістраль високого тиску за допомогою електрогідравлічних датчиків були зафіксовані резонансні явища, які у окремих випадках призводили до короткочасного, значного (близько 2 разів) перевищення допустимого тиску.

У результаті цього спостерігалось руйнування клапанів, пружин, а у окремих випадках пошкодження плунжерів. Встановлення на напірній магістралі гасителів коливань тиску не дозволило повністю виключити резонансні явища. Тому було прийнято рішення про розділення напірної магістралі на дві, що живлять нижній та верхній колектори.

Варто також відзначити, що у країнах СНД вже випускаються насоси з  $P_{\max} = 63 \text{ МПа}$  і подачею  $180 \text{ л/хв.}$ , що дозволить зменшити кількість насосних установок до трьох (одна з них резервна), тим самим виключивши взаємний вплив нерівномірності подачі плунжерних насосів одне на одного.

Крім того, для подальшої мінімізації встановленої потужності може бути запропоновано схему підключення, за якої верхній та нижній колектори розташовуються одне від одного на відстані, яка дорівнює довжині найдовшої заготовки, що прокатується на даному стані, і вмикаються ці колектори у роботу почергово.

Дану схему зображено на рис. 3, де показана ділянка стана з установкою гідрозбиву і елементами АС ГЗО, що включає:

- рольганг 1;
- фотоелектричний датчик товщини 2 і наявності металу 3;
- датчик швидкості рольганга 4;
- верхній колектор 5, що має змогу переміщуватися у вертикальному напрямку за допомогою слідкуючого привода 6;
- датчик зворотного зв'язку 7, сигнали від якого потрапляють до керуючого контролера 8;
- нижній колектор 9, що встановлений нерухомо.

На основі сигналів про товщину заготовки, що надходить від системи супроводу верхнього рівня та інформації про товщину, що отримується від фотоелектричного датчика, верхній колектор по команді АС ГЗО займає задане положення для створення необхідної сили удару струменя води.

Також на основі інформації, отриманої від системи керування верхнього рівня, вибирається необхідний рівень тиску і в блок формування тиску 10 надходить команда на включення необхідного, встановленого для даної заготовки тиску шляхом впливу на відповідний регулятор тиску 11. Насоси 12 виходять на робочий тиск, коли заготовка підходить безпосередньо на лінію гідрозбиву.

За відсутності системи верхнього рівня робочий тиск встановлюється оператором кліти на основі відповідних таблиць. Крім того, за сигналом від датчика 3, який свідчить про наявність металу, включається транспортний рольганг, і заготовка надходить до лінії гідрозбиву із заданою від АС ГЗО швидкістю, яка контролюється датчиком 4.

Після виходу заготовки із зони дії нижнього колектора гідрозбиву спрацьовує датчик 13, за яким формується сигнал, що надходить до регулятора тиску, при цьому електродвигун насосного агрегата починає споживати 7–10 % номінальної потужності, що забезпечує економію енергоресурсів.

Вищеописана АС ГЗО може бути рекомендована для будь-яких типів прокатних станів гарячої прокатки: блюмінгів, слябінгів, товстолистових, а також для прокатки на сортових станах заготовок будь-якої конфігурації.

Як показують результати впровадження, АС ГЗО дозволяє отримати економію енергоресурсів, складові якої наведено у таблиці 1.

№	Показники	Оцінка економії	Технічні джерела економії
1	Покращення якості поверхні	Збільшення відсотка придатної продукції за рахунок зменшення кількості дефектних місць і витрат на їх зачищення	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Збільшений с 8,5–20 МПа (в аналогах) до 60–70 МПа тиск у гідросистемах.</li> <li>• Нові конструкції сопел (зменшеного перерізу), колекторного блоку водострумевих (роторних) головок та насосних станцій.</li> <li>• Спосіб автоматичної оптимізації робочих і «холостих» режимів роботи насосних агрегатів гідросистеми видалення окалини зі смуги.</li> </ul>
2	Витрата води	Зменшення у 10–20 разів у порівнянні з існуючими аналогами	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Використання ефективного високошвидкісного обертання (1000–3000 об/хв) роторних водострумевих головок колекторного блоку системи гідрозмиву.</li> <li>• Автоматичний вибір оптимальної відстані від водострумевих головок до поверхні рухомого гарячого сляба чи смуги.</li> <li>• Спеціальна конфігурація, розміри і кількість сопел та водострумевих головок.</li> </ul>
3	Витрата електроенергії	Зменшення у 5–10 разів у порівнянні з існуючими аналогами	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нове економічне гідронасосне обладнання зменшеної у порівнянні з аналогами встановленої потужності.</li> <li>• Автоматичний ввід «холостого» режиму роботи з використанням тільки 7% встановленої потужності і керування відключенням витрати води за відсутності полоси на рольгангу.</li> </ul>
4	Розрахунковий економічний ефект	3–4 млн. грн.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Річний економічний ефект від впровадження системи залежить від техніко-економічних показників стану і наданих до АС ГЗО вимог.</li> </ul>

## Література

1. Грабовский, Г.Г., и др. Физические основы системы гидросбива окалины // Автоматизация производственных процессов. — 2004. — № 1. — С. 100—108.

2. Silk, N.J. The practical aspects of hydraulic de-scaling // Steel Times. Int. — 2001. — 25. — № 7. — С. 28.

3. Архангельский, В.И., Грабовский, Г.Г., Байкалов, В.А. Энергозберігаючі системи гідрозмиву окалини для гарячої прокатки листів // Автоматизация производственных процессов. — 2000. — № 1 (10). — С. 14—20.

4. Беляев, Ю.Б., Грабовский, Г.Г., Шевченко, Т.Г. Автоматизация гидравлического удаления окалины при прокатке горячего металла // Автоматизация производственных процессов. — 2002. — № 2 (15). — С. 74—83.

5. Беккер, Э.-А., Биркемайер, Г., Бюхеле, В., и др. Применение оптимизированных сопел для гидросбива окалины на широкополосном стане горячей прокатки фирмы Thyssen Krupp Stahl AG // Черные металлы. — 2000. — № 12. — С. 42—46.

6. Грабовский, Г.Г., Иевлев, Н.Г., Чистоньянов, О.Ф. Некоторые проблемы энергоресурсосбережения при гидравлическом удалении окалины // Автоматизация производственных процессов. — 2005. — № 1(20). — С. 76—82.

7. Грабовский, Г.Г., Иевлев, Н.Г., Чистоньянов, О.Ф. Теоретический анализ механизмов разрушения окалины при гидросбиве // Автоматизация производственных процессов. — 2005. — № 2 (21). — С. 99—106.

8. Грабовский, Г.Г., Иевлев, Н.Г., Корбут, В.Б. Принципы алгоритмической реализации автоматизированной системы гидросбива окалины. Результаты промышленного внедрения // Автоматизация производственных процессов. — 2006. — № 1(22). — С. 65—68.

9. Патент на винахід 83064. МПК(2006).B21В45/04 Пристрій для водострумивної обробки поверхонь матеріалів / Грабовський Г.Г., Ієвлев М.Г., Корбут В.Б. — № а 2006 03134; Заявл. 23.03.2006; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.

Надійшла 06.09.2010 р.